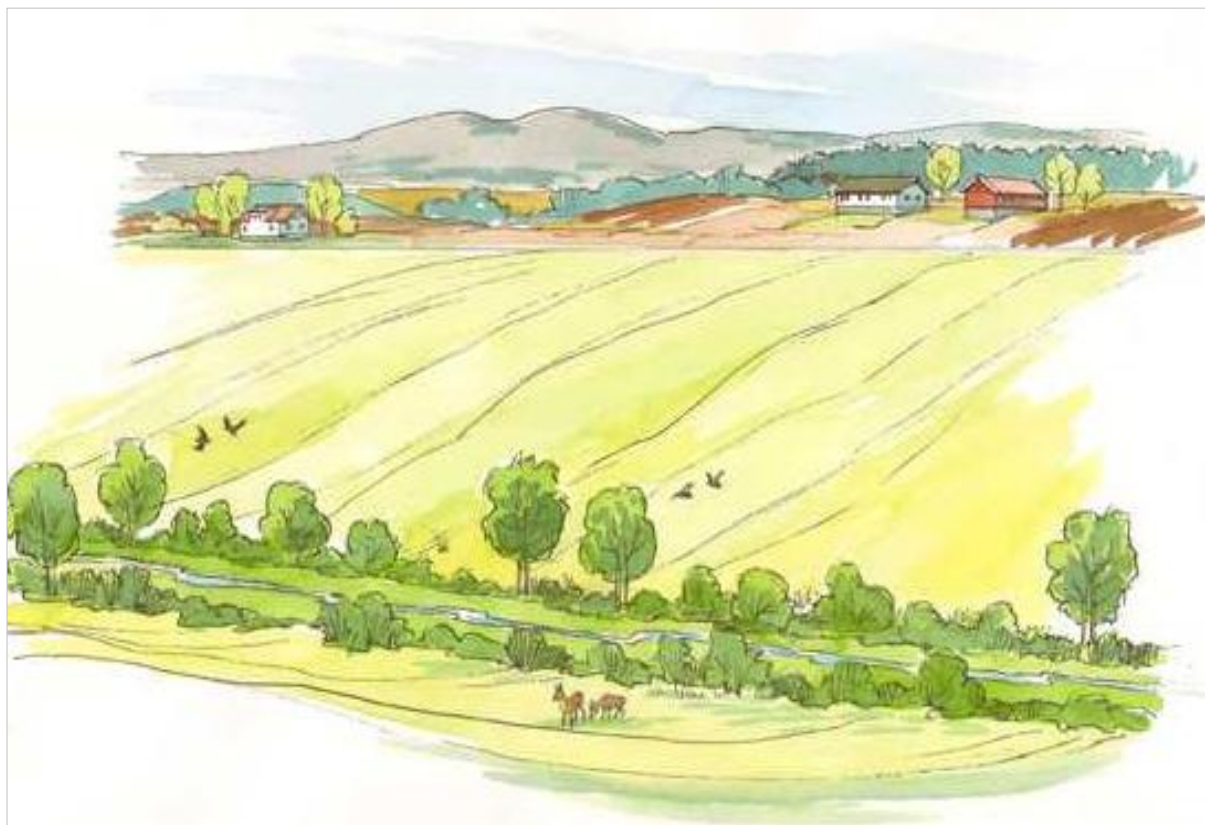




Vegetasjonssoner som rensefilter for overflateavrenning

- effekt av ulik vegetasjon og variasjon i renseeffekt over tid

Anne Kristine Søvik, Nina Syversen og Trond Mæhlum



Figur 1. Vegetasjonssone som barriere mot avrenning og viltkorridor i landskapet. Illustrasjon: R. Skøyen.

En vegetasjonssone er en overgangssone mellom dyrket mark og vassdrag med permanent vegetasjon. Vegetasjonssonen virker ved at avrenningen bremses. Partikler, næringsstoffer og evt. plantervernmidler i vannet sedimenteres i sonen, bindes til jord og plantedeler eller taes opp i vegetasjonen. Type vegetasjon i sonen har stor innflytelse på prosessene som bidrar til tilbakeholdelse av partikler og næringsstoffer. Dette nr. av Bioforsk FOKUS tar for seg resultater fra prosjektet "Videreutvikling av vegetasjonssoner og deres renseeffekt" som er gjennomført med støtte fra Statens landbruksforvaltning og finansiert med midler over Jordbruksavtalen. Prosjektet startet opp våren 2003, og ble avsluttet sommeren 2007. Prosjektet omhandler effekt av ulike vegetasjoner (gress kontra trær) når det gjelder vegetasjonssoners renseeffekt på overflateavrenning fra jordbruksarealer. Langtidsrenseeffekt av vegetasjonssoner er også undersøkt i dette prosjektet. Prosjektet er en videreføring av tidligere prosjekter som Bioforsk har hatt om samme tema.

Bakgrunn

Effektiviseringen av landbruket etter andre verdenskrig har ført til økt erosjon og tap av næringsstoffer fra jordbruksarealer. Videre er både kantvegetasjon langs bekker og bekkene i seg selv, samt våtmarker blitt fjernet fra jordbrukslandskapet. Avrenning fra jordbruksarealer er en av de viktigste kilder til eutrofiering av vannforekomster i Norge. Gjeninnføring av naturlige rensesystemer som vegetasjonssoner kan bidra til redusert avrenning fra jordbrukslandskapet.

Vegetasjonssoner er vegetasjonskledde overgangssoner mellom dyrket mark og vassdrag. De skal ikke sprøytes og helst ikke gjødsles (figur 1). Vegetasjonssoner kan være dekket av gress eller gress i kombinasjon med trær (figur 2 og 3).

Vegetasjonssoner langs vassdrag blir mer og mer utbredt i det moderne landbruket, og har vist seg å være effektive tiltak for å redusere overflateavrenning fra jordbruksarealer (Dillaha m.fl., 1989; Uusi-Kämpä m.fl., 2000; Vought m.fl., 1994; Syversen, 2002a). I

Norge har fylkene valgt litt forskjellig enhet å rapportere på, dvs noen rapporterer på daa sone og noen på antall meter. Det er derfor ikke så lett å summere opp til ett nasjonalt tall. Hvis vi imidlertid ser på sum daa for de fylkene som opererer med denne enheten, er det en økning fra ca 3700 daa i 2005 til ca 7400 daa med vegetasjonssoner i 2007. For de fylkene som opererer med enhet lengde, er den totale lengde med vegetasjonssoner økt fra ca 90 km i 2005 til ca 270 km i 2007.

På begynnelsen av 90-tallet ble det startet opp forsøk som skulle klarlegge i hvor stor grad og under hvilke forhold vegetasjonssoner i Norge ville ha størst effekt på rensing av overflateavrenning. Resultatene viste at renseeffekten er størst i øvre del av vegetasjonssonen, og en bredde på 5-10 m med gress ble anbefalt (Syversen, 1994, Syversen m.fl., 2001). Videre ble sedimentasjon funnet å være den viktigste renseprosessen i vegetasjonssoner med overflateavrenning (Syversen, 2002a).

Et nytt prosjekt ble startet opp i 1999. Resultatene fra dette prosjektet viste at det var ingen signifikant forskjell i relativ renseeffekt (%) mellom sommer og vinter. Det

ble antatt at dette skyldes større avrenningsintensitet om vinteren, noe som fører til løsrivelse av større partikler som dermed lettere sedimenteres i vegetasjonssonen (Syversen, 2003). Videre ble det ikke funnet noen forskjell i renseeffekt mellom forsøksperioden der tilførselsarealet lå brakk hele året, kontra perioden hvor det ble dyrket korn om sommeren. Renseeffekt av fosfor (P), partikler (SS) og organisk materiale viste ingen reduksjon i tidsrommet 1992-2003 (Syversen, 2003).

Et nytt prosjekt ble startet opp i 2003 for å undersøke nærmere effekten av gress kontra trær i vegetasjonssoner ved naturlig avrenning. Resultater fra dette prosjektet er rapportert i Bioforsk rapport nr. 3(2) samt i dette nr av Bioforsk FOKUS. I dette siste prosjektet har det i tillegg til feltforsøk også vært utført lysimeterforsøk der renseeffekten av or i forhold til osp har vært undersøkt. Årsaken til at det har vært spesiell fokus på treslaget or er at or fikserer nitrogen (N). Det er dermed usikkert om renseeffekten til or er dårligere med hensyn på nitrogen enn for andre treslag. Or er et treslag som hører naturlig hjemme langs bekker og vassdrag, og er dermed et ønskelig treslag å plante til i vegetasjonssoner.

I Mørdre-feltet (Nes, Akershus) har det vært utført feltforsøk siden 1992. Resultatene fra Mørdre-feltet representerer dermed verdifulle tidsserier angående langtidsrenseeffekter i vegetasjonssoner. Det er i fremtiden spådd mer ustabil klima med mildere vintre som vil gi flere fryse-tine sykluser og høyere avrenning om vinteren. Den milde vinteren 2006-2007 ble av mange betraktet som en forsmak på hva vi har i vente. Hvorvidt vegetasjonssoner har like god renseeffekt i milde vintre vil være en viktig problemstilling fremover. Dette prosjektet oppsummerer resultatene fra alle feltsonene i Mørdre og undersøker om det har vært en endring i renseeffekt over tid.

Forsøksmetodikk

Prosjektet har bestått av to ulike forsøk: et lysimeterforsøk på Ås og et feltforsøk med naturlig avrenning i Mørdre. I lysimeterforsøket er effekten av gress kontra trær i vegetasjonssoner samt effekt av treslaget or kontra treslaget osp blitt studert. Feltforsøkene i Mørdre har sett på effekten av bruk av spredte trær (osp) i gresskledd vegetasjonssone kontra vegetasjonssone med



Figur 2. Gresskledd vegetasjonssone. Foto: N. Syversen.

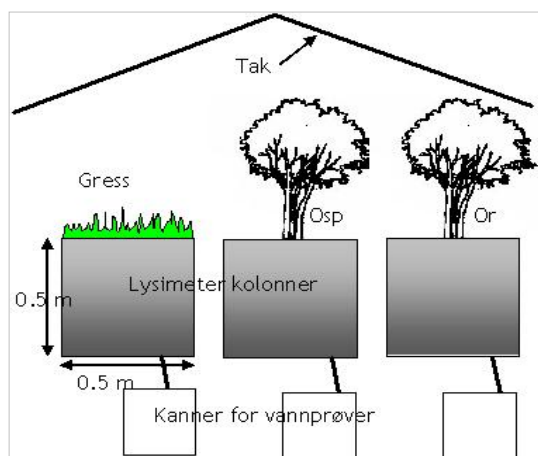


Figur 3. Vegetasjonssone med trær. Foto: U. Dahl Grue.

bare gress. Langtidsrenseeffekter i vegetasjonssoner har også vært undersøkt.

Lysimeterforsøk

Rensing av overflateavrenning i rotsonen er blitt undersøkt i lysimetre (se figur 4). Lysimeterforsøket bestod av 12 kolonner fylt med toppjord fra Mørdre-feltet. Det var 4 kolonner med tett gressvegetasjon, 4 kolonner med treslaget osp og 4 kolonner med treslaget or. Det var ett tre i hver kolonne. Kolonnene hadde fri vertikal drenering og vannet som perkolerte gjennom kolonnene ble samlet opp i vannkanner (figur 4). Hele forsøksfeltet var dekket med et tak.



Figur 4. Oppsett av lysimeterforsøk. Illustrasjon: A.K. Søvik.

En forsøksrunde bestod av to ulike avrenningssimuleringer: høy avrenning (25 mm dag^{-1}) med henholdsvis lav og høy konsentrasjon av næringsstoffer og partikler. I simuleringen med lav konsentrasjon ble det brukt $2 \text{ mg N liter}^{-1}$; $0,5 \text{ mg P liter}^{-1}$ og $500 \text{ mg partikler liter}^{-1}$, mens i simuleringen med høy konsentrasjon ble det brukt $8 \text{ mg N liter}^{-1}$; $2 \text{ mg P liter}^{-1}$ og $2000 \text{ mg partikler liter}^{-1}$. Suspendert materiale eller partikler (SS) bestod av tørket og siktet jord fra forsøksfeltet i Mørdre.

Mengde vann perkolert gjennom kolonnene ble målt, og vannprøven analysert for suspendert materiale (SS), organisk karbon (orgC), total nitrogen (TotN), nitrat (NO_3^-), ammonium (NH_4^+), total fosfor (TotP) og fosfat (PO_4^{3-}).

Det ble utført én forsøksrunde sent i september (2004), én sent i juni (2005), én i begynnelsen av november (2005) (ingen blader på trærne) og én i begynnelsen av april (2006) (ingen blader på trærne).

Feltforsøk i Mørdre

Forsøksfeltene i Mørdre består av dyrkede felt med vegetasjonssoner i nedre kant (se figur 5). Feltet uten vegetasjonssone fungerer som referansefelt, og prøvene herfra betraktes som innløpsprøver til vegetasjonssonene. Vannet ut fra de tre vegetasjonssonene og referansefeltet blir samlet opp i renner som ledes til målehytter der det blir tatt ut volumproporsjonale vannprøver. Det tas prøver fra feltet hele året igjennom.

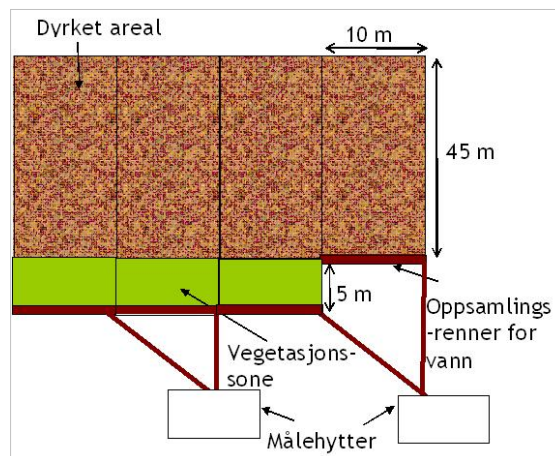
Jordtypene i feltene er siltig mellomleire til siltig lattleire, og vegetasjonssonene består av gress og urter eller gress med enkelte spredte trær. Vegetasjonssonene ble ikke sprøytet eller gjødslet. Tilførselsarealene ble sådd med korn, og i tillegg gjødslet og sprøytet. Tilførselsarealene ble harvet om høsten.

Vannprøver ble tatt ut etter hver avrenningsepisode eller så ofte som to ganger om dagen under snøsmeltingen. Vannprøvene ble analysert for suspendert materiale (SS), organisk karbon (orgC), total nitrogen (TotN), nitrat (NO_3^-), ammonium (NH_4^+), total fosfor (TotP) og fosfat (PO_4^{3-}).

Resultater fra lysimeterforsøket

I lysimeterforsøket ble tilbakeholdelsesmekanismene i rotsonen studert. Dermed vil prosesser som sorpsjon, næringsopptak og denitrifikasjon være viktige rensmekanismer. Mer detaljert beskrivelse av resultatene fra lysimeterforsøket finnes i Søvik & Syversen (2008).

Mengden partikler, organisk karbon og næringsstoffer i utløpsvannet fra kolonnene var generelt lavere enn i vannet tilsatt



Figur 5. Feltforsøk med naturlig avrenning i Mørdre. Illustrasjon: A.K. Søvik.

kolonnene. En økning fra innløpet til utløpet ble bare observert i noen tilfeller for NH_4^+ , noe som resulterer i negativ renseeffekt. Gjennomsnittlig renseeffekt (\pm standardavvik) i % for alle avrenningssimuleringer var 88 ± 13 for partikler, 83 ± 17 for organisk materiale, 58 ± 27 for TotN, 72 ± 26 for NO_3^- -N, 4 ± 112 for NH_4^+ -N, 76 ± 22 for TotP og 77 ± 21 for PO_4^{3-} -P.

Kolonnene med trær ble funnet å ha en bedre tilbakeholdelse av partikler, TotP og PO_4^{3-} enn kolonnene med gress (figur 6). Dette kan skyldes at trærne har et bedre utviklet rotsystem som igjen holder bedre på jordpartiklene. På et dyrket jorde vil mesteparten av P i avrenningen forekomme som partikulært P. Opp til 89 % av total P i innløpsvannet til en vegetasjonssone er blitt observert å være partikulært P (Syversen, 2002b). I felt med overflateavrenning er sedimentasjon den viktigste tilbakeholdelsesmekanismen. I lysimeterforsøket ble derimot P tilsatt som PO_4^{3-} . Sorpsjon til jorden og opptak i vegetasjonen vil da være de viktigste retensjonsmekanismene. Bedre tilbakeholdelse av P i kolonner med trær i forhold til gress kan da forklares med et høyere opptak av P i trær enn i gress.

Kolonnene med trær hadde generelt bedre renseeffekt enn kolonnene med gress når det gjaldt nitrogenforbindelsene (figur 6). De eneste unntakene var i september (med lav tilsatt konsentrasjon) der kolonnene med or

og gress hadde lik renseeffekt for TotN og NO_3^- . Denitrifikasjon finner sted i anaerob jord. Vegetasjon spiller en viktig rolle med hensyn på denitrifikasjon ved at rotsystemet skiller ut organisk karbon som trengs for denitrifikasjonsprosessen. Ved at trær har et dypere og større rotsystem enn gress, kan mer organisk karbon skilles ut, noe som øker denitrifikasjonen (Fennessy & Cronk, 1997). Kolonnene i dette forsøket var drenert, og følgelig var jorden hovedsakelig aerob. Denitrifikasjon kan likevel finne sted i små anaerobe porer inni jordaggregater. Høyere tilbakeholdelse av N i kolonner med trær kan også skyldes et høyere opptak i trær sammenlignet med gress.

I lysimeterforsøket ble or funnet å være mer effektiv enn osp med hensyn på tilbakeholdelse av N om sommeren, mindre effektiv om våren og tidlig høst, mens kolonner med or og osp hadde lik renseeffekt for N sent på høsten (figur 6). Dermed kan det se ut som om forskjellen i renseeffekt for N mellom de to treslagene på årsbasis vil være omtrent lik. Dermed er or trolig like velegnet som osp i skogskledde vegetasjonssoner. I følge Mander m.fl. (1996) vil atmosfærisk N_2 fiksering være signifikant lavere i en bestand av or i et område med mye N i jorden

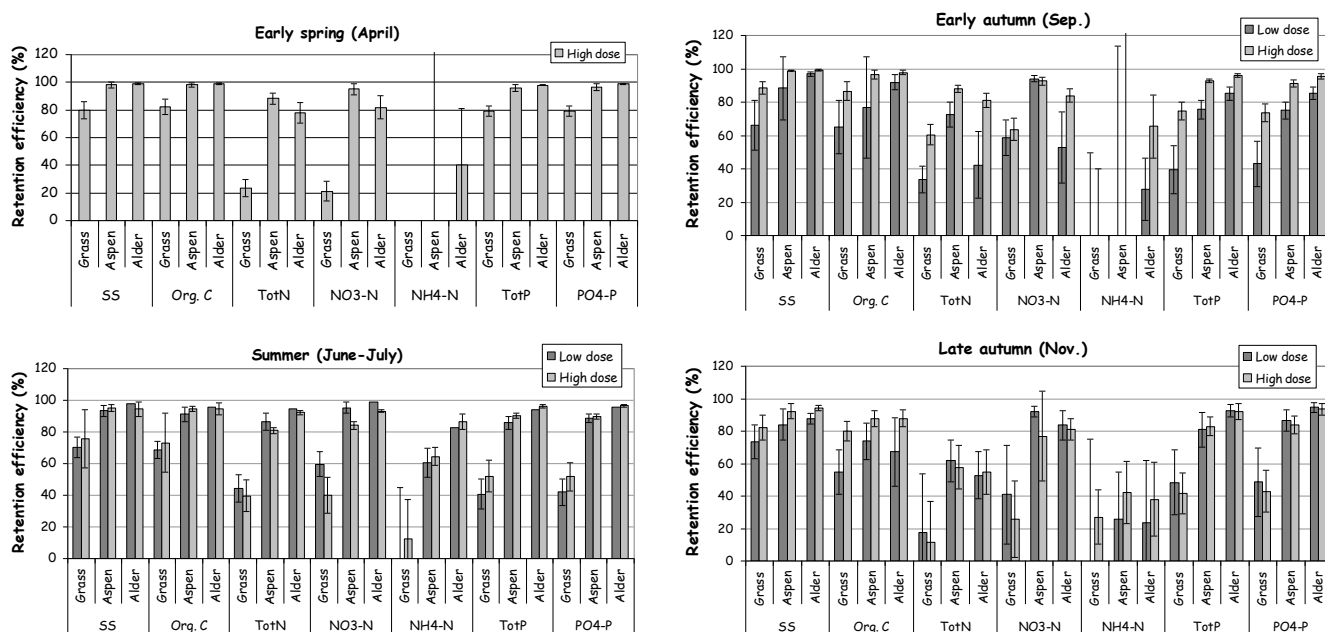
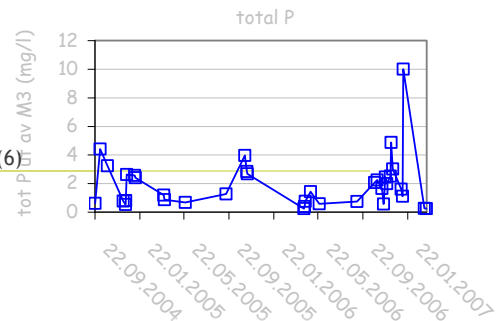


Figure 6. Middelverdi og standardavvik for renseeffekt (%) for partikler, organisk karbon, TotN, NO_3^- -N, NH_4^+ -N, TotP og PO_4^{3-} -P avhengig av vegetasjon (gress, osp og or), årstid samt høy og lav tilsatt konsentrasjon. Bare positive renseeffekter er vist.



sammenlignet med en bestand i et område med lite N i jorden. Mander m.fl. (1996) konkluderer med at oreskog langs elvebredder fungerer som effektive buffere mot avrenning fra ovenforliggende jordbruksarealer.

I lysimeterforsøket ble det funnet at tilbakeholdelsen av næringsstoffene P og N generelt var bedre om våren, sommeren og tidlig høst enn sent på høsten. Dette kan indikere at opptak i vegetasjonen har spilt en viktig rolle. For partikler og organisk karbon der filtrering i jorden trolig var den viktigste mekanismen, var det mindre forskjell mellom de ulike årstidene.

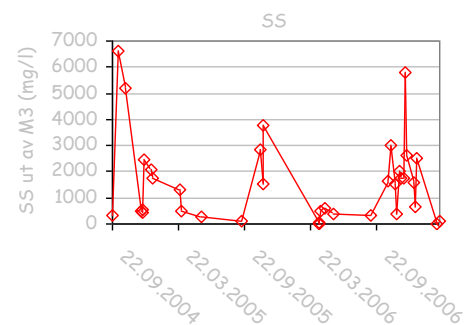
Oppsummering - lysimeterforsøk

- Kolonnene med trær hadde bedre tilbakeholdelse av partikler, TotP and PO_4^{3-} enn kolonnene med gress.
- Kolonnene med trær hadde generelt bedre renseeffekt enn kolonnene med gress med hensyn på nitrogenforbindelsene.
- Or er trolig like velegnet som osp i skogskledde vegetasjonssoner.

Resultater fra feltforsøket i Mørdre

Avrenning

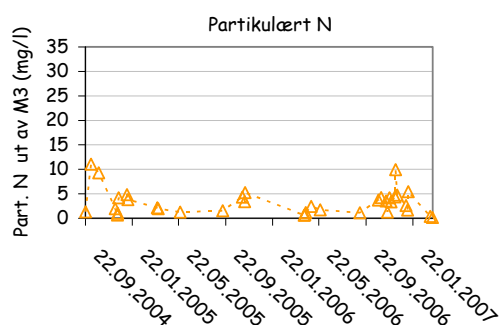
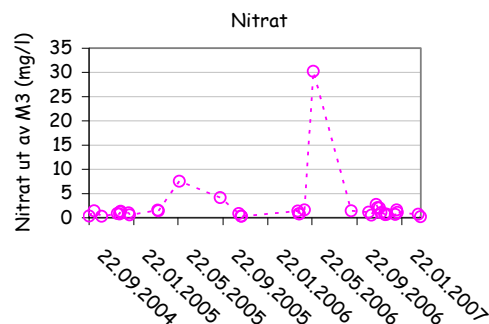
I løpet av forsøksperioden faller ca 60 % av nedbøren i sommerhalvåret (mai - oktober), mot 40 % i vinterhalvåret (november - april). Mellom 13 og 62 % av nedbøren om vinteren renner av som overflateavrenning. Tilsvarende tall for sommeren er 0,2 til 10 %. Avrenningen om vinteren utgjør mellom 60 og 93 % av total årsavrenning. Avrenningen om sommeren utgjør mellom 7 og 39 % av total årsavrenning. Dette viser at selv om det regner mest i sommerhalvåret, så foregår det meste av avrenningen i vinterhalvåret. Dette skyldes stor avrenning om våren i snøsmeltingsperioden samt redusert infiltrasjonskapasitet i vinterhalvåret på grunn av frost i bakken. Det er derfor viktig å studere effekt av vegetasjonssoner i vinterhalvåret.



Konsentrasjonen av partikler og total P i avrenningsvannet er størst om høsten, vinteren og i løpet av snøsmeltingen (figur 7).

Det er imidlertid store variasjoner fra år til år. Konsentrasjonen av fosfat i

Figur 7. Avrenning av partikler (SS) og total P ut av referansefeltet i forsøksperioden. Mønsteret for organisk karbon er identisk med mønsteret for SS, men med lavere verdier.



Figur 8. Avrenning av nitrat og partikulært N ut av referansefeltet i forsøksperioden. Konsentrasjonen av ammonium var neglisjerbar i forhold til de andre N-komponentene.

%	SS	Org C	Tot P	PO_4^{3-}	Tot N	NO_3^-	NH_4^+
Gress	33	18	23	28	16	-11	6
Trær	45	48	34	38	31	-1	28

Tabell 1. Gjennomsnittlig renseeffekt i % for vegetasjonssonen med gress og de to vegetasjonssonene med gress og spredte trær for perioden høst 2004 til og med våren 2007.

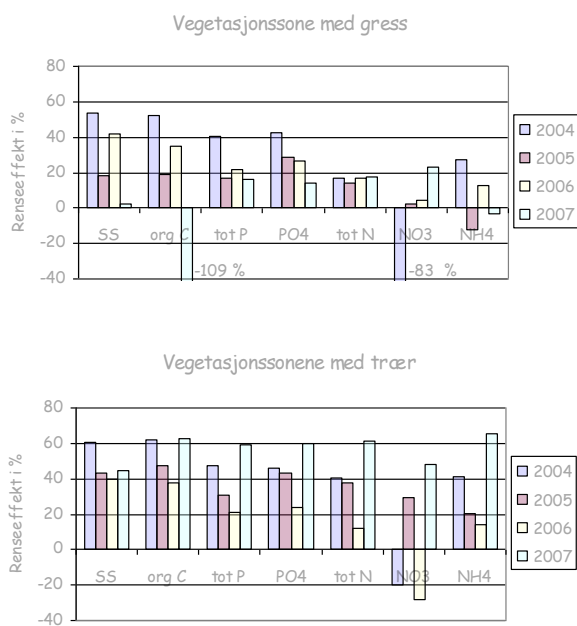
avrenningsvannet er generelt like stor eller større enn konsentrasjonen av partikulært P (resultater ikke vist). Det er bare i to avrenningsepisoder at konsentrasjonen av partikulært P er større enn konsentrasjonen av fosfat. I tidligere forsøk er det blitt funnet at partikulært P utgjør hoveddelen av det totale P i avrenningsvannet (Syversen, 1997). Disse resultatene viser imidlertid at i mange tilfeller kan mye av det P som renner av faktisk foreligge som løst P. En forklaring kan være at jorden i de dyrkede områdene begynner å bli mettet med P slik at mindre fosfat bindes til jorden og dermed er det mer fosfat i avrenningsvannet. En annen årsak kan være endringer i gjødselsrutinene. I de første årene med feltforsøk i Mørdre lå tilførselsarealene brakk gjennom sommeren. I de siste årene er det imidlertid dyrket korn og arealene har vært gjødslet. Dette kan ha ført til større avrenning av løst P.

Avrenningen av N består hovedsakelig av nitrat og partikulært N (figur 8).

Konsentrasjonen av nitrat i avrenningsvannet er høyest om våren og sommeren, mens konsentrasjonen av partikulært N er høyest om høsten og vinteren. Avrenning av nitrat kommer trolig fra tilført N-gjødsel om sommeren, mens partikulært N følger avrenningen av partikler som er høyest om høsten og vinteren.

Oppsummering - avrenning i Mørdre-feltet

- Det regner mest i sommerhalvåret, men det meste av avrenningen foregår i vinterhalvåret.
- Konsentrasjonen av partikler og total P i avrenningsvannet er størst om høsten, vinteren og i løpet av snøsmeltingen.
- Konsentrasjonen av nitrat i avrenningsvannet er høyest om våren og sommeren, mens konsentrasjonen av partikulært N er høyest om høsten og vinteren.



Figur 9. Gjennomsnittlig renseeffekt i % per år, for vegetasjonssonen med gress og de to vegetasjonssonene med gress og spredte trær. Året 2004 omfatter bare høsten, mens året 2007 bare omfatter snøsmeltingsepisoden.

Renseeffekt

Den gjennomsnittlige renseeffekten for hele perioden er høyest for partikler (SS) og organisk karbon, deretter kommer total P og fosfat, og lavest renseeffekt finner vi for nitrogenforbindelsene. Den gjennomsnittlige renseeffekten for hele forsøksperioden i vegetasjonssonen med gress og sonene med gress og spredte trær er: for partikler 33 og 45 %, for organisk karbon 18 og 48 %, for total P 23 og 34 %, for PO_4^{3-} 28 og 38 %, for total N 16 og 31 %, for nitrat -11 og -1 % og for ammonium 6 og 28 % (tabell 1). De negative tallene for nitrat skyldes flere episoder med utspyling av nitrat. Tallene er beregnet ut fra 36 enkeltepisoder.

Renseeffekten varierer mye fra år til år (figur 9). Lav prosentvis renseeffekt i noen år skyldes enkeltepisoder med svært liten tilbakeholdelse eller stor utspyling fra sonen.

Tabell 2. Gjennomsnittlig retensjon (%) av de ulike parametrene for sommer og vinterhalvåret. I de to første kolonnene er data fra alle de tre vegetasjonssonene tatt med, i de neste to kolonnene er det bare tatt med data fra vegetasjonssonen med gress, og i de siste to kolonnene er det tatt med data fra de to sonene med gress og spredte trær. Negative tall indikerer utslipp fra vegetasjonssonen.

	Alle tre sonene		Gress		Gress med spredte trær	
	Sommer	Vinter	Sommer	Vinter	Sommer	Vinter
SS	57 ^A	38 ^A	61 ^A	27 ^A	55 ^A	43 ^A
OrgC	46 ^A	36 ^A	49 ^A	12 ^A	44 ^A	48 ^A
TotP	11 ^B	34 ^A	24 ^A	23 ^A	4 ^B	40 ^A
PO ₄ ³⁻	24 ^A	37 ^A	33 ^A	28 ^A	19 ^B	41 ^A
TotN	16 ^A	28 ^A	29 ^A	14 ^A	9 ^B	35 ^A
NO ₃ ⁻	4 ^A	-6 ^A	23 ^A	-17 ^A	-6 ^A	-1 ^A
NH ₄ ⁺	27 ^A	19 ^A	27 ^A	2 ^A	27 ^A	28 ^A

Ulike bokstaver for sommer og vinter indikerer at retensjonen (%) for en parameter er signifikant forskjellig mellom sommer- og vinterhalvåret. Like bokstaver indikerer ikke signifikant forskjell.

Det meste av overflateavrenningen skjer om vinteren. Det er derfor viktig at vegetasjonssonene virker om vinteren. Tabell 2 sammenligner gjennomsnittlig renseeffekt i sommerhalvåret med vinterhalvåret. I de to første kolonnene er alle dataene tatt med, her ser vi at det ikke er signifikant forskjell i renseeffekt mellom sommer- og vinterhalvåret for noen av parametrene. Det eneste unntaket er total P, her er retensjonen signifikant høyere om vinteren enn om sommeren. Ser vi på vegetasjonssonen med gress er det ingen forskjell mellom sommer og vinter for noen av parametrene, mens for vegetasjonssonene med gress og spredte trær er det signifikant høyere retensjon av total P, PO₄³⁻ og total N om vinteren enn om sommeren.

Resultatene viser altså lik renseeffekt (%) om sommeren og vinteren eller bedre renseeffekt om vinteren. Disse resultatene er bedre enn tidligere resultater av Syversen (2003), som "bare" fant at det ikke var signifikant forskjell mellom de to årstidene. Da det er større tetthet i vegetasjonen, opptak av næringsstoffer i vegetasjonen samt lavere avrenningsintensitet om sommeren, hadde man forventet høyere retensjon om sommeren. Høy retensjon om vinteren kan imidlertid forklares med høy avrenningsintensitet som river løs grovere partikler som igjen sedimenterer lettere i vegetasjonssonen (Syversen, 2003).

Generelt var retensjonen av de kjemiske parametrene lik (ikke signifikant forskjell) i

de tre sonene (tabell 3). Det var verken signifikant forskjell mellom de to sonene med spredte trær, eller mellom sonene med spredte trær og sonen med gress. Det var imidlertid noen unntak, i vinterhalvåret var det signifikant lavere retensjon av total P, total N og NH₄⁺ i sonen med gress sammenlignet med den ene sonen med trær. Det samme gjaldt for NH₄⁺ når alle dataene ble sett under ett.

Dette viser at når det gjelder overflateavrenning så ser det ikke ut som om planting av enkelte trær i vegetasjonssonen har en effekt på retensjon av overflateavrenning. For at planting av trær skal ha en positiv effekt på retensjonen så må de enten bidra til en mer effektiv sedimentasjon eller en økt infiltrasjon. Det er mest nærliggende å tro at utvikling av et godt rotsystem, kan øke infiltrasjonskapasiteten. Grunnen til at dette ikke ble observert i Mørdre, kan være for få år for å utvikle et godt rotsystem, eller at det ble plantet for få trær i hver sone.

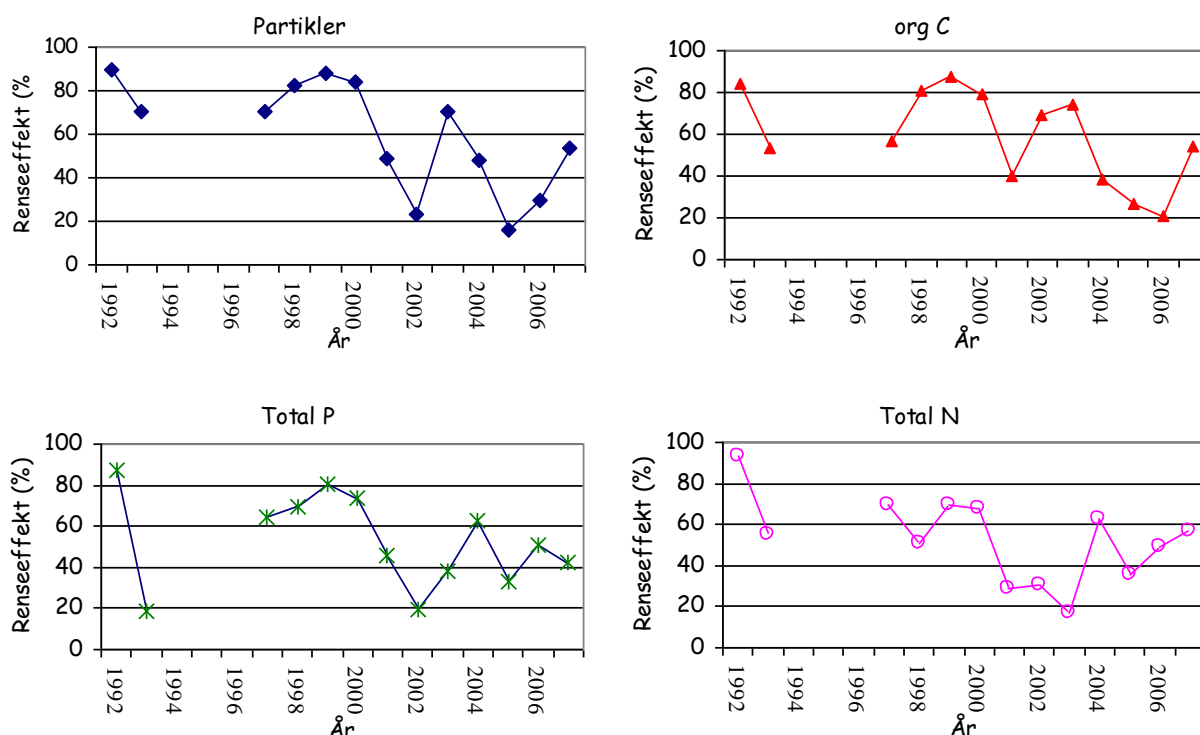
Prosentandelen av avrenningen som infiltrerer i vegetasjonssonene varierer fra null til opp imot 100 % i forsøksperioden. Det ser ikke ut å være noen sammenheng mellom prosentandel infiltrert og årstid. Det er ingen signifikant forskjell i infiltrasjon mellom vegetasjonssonene, verken når alle data blir sett under ett, eller når sommerhalvåret og vinterhalvåret blir behandlet hver for seg. Det er heller ingen forskjell mellom sommer- og

Tabell 3. Gjennomsnittlig retensjon (%) av de ulike kjemiske parametrene for de tre vegetasjonssonene. I de to første kolonnene er data fra hele året tatt med, i de neste to kolonnene er det bare tatt med data fra sommerhalvåret, og i de to siste kolonnene er det tatt med data fra vinterhalvåret. Negative tall indikerer utslipp fra vegetasjonssonen.

	Hele året	Sommer	Vinter
--	-----------	--------	--------

	V1 - trær	V4 - trær	V2 - gress	V1 - trær	V4 - trær	V2 - gress	V1 - trær	V4 - trær	V2 - gress
SS	48 ^A	43 ^A	33 ^A	61 ^A	50 ^A	61 ^A	45 ^A	42 ^A	27 ^A
OrgC	49 ^A	46 ^A	34 ^A	49 ^A	39 ^A	49 ^A	49 ^A	48 ^A	31 ^A
TotP	33 ^A	35 ^A	23 ^A	9 ^A	-0,3 ^A	24 ^A	38 ^{AB}	42 ^A	23 ^B
PO ₄ ³⁻	39 ^A	37 ^A	28 ^A	32 ^A	7 ^A	33 ^A	41 ^A	35 ^A	34 ^A
TotN	32 ^A	30 ^A	16 ^A	23 ^A	-4,5 ^A	29 ^A	33 ^A	37 ^A	14 ^B
NO ₃ ⁻	11 ^A	-14 ^A	-11 ^A	24 ^A	-35 ^A	23 ^A	8 ^A	-9 ^A	-17 ^A
NH ₄ ⁺	22 ^{AB}	34 ^A	7 ^B	23 ^A	31 ^A	27 ^A	22 ^{AB}	34 ^A	2 ^B

Ulike bokstaver indikerer at retensjonen (%) for en parameter er signifikant forskjellig mellom vegetasjonssonene (dvs. V1-trær versus V4-trær versus V2-gress). Like bokstaver indikerer ikke signifikant forskjell.



Figur. 10. Gjennomsnittlig renseeffekt (%) pr år gjennom en 5 m bred vegetasjonssone. I perioden 1994-1996 ble det gjennomført et annet forsøk i feltet, renseeffekten er derfor ikke beregnet for denne perioden. Renseeffekten for årene 1992, 1993, 2003, 2004 og 2007 representerer deler av året

vinterhalvåret når det gjelder mengde vann infiltrert i hver avrenningsepisode. Dette var nokså overraskende da mer frost i bakken om vinteren burde tilsi at infiltrasjonen avtok.

Langtidsrenseeffekt

Figur 10 viser gjennomsnittlig renseeffekt i % for en 5 m bred vegetasjonssone i Mørde i periodene 1992-1993 og 1997-2003. Renseeffekten for årene 1992, 1993, 2003, 2004 og 2007 representerer et gjennomsnitt for bare deler av året. Renseeffekten varierer mye mellom de ulike år. For partikler varierer renseeffekten mellom 16 og 90 %, for organisk karbon mellom 21 og 87 %, for total P mellom

19 og 87 % og for total N mellom 29 og 93 %. Høyest grad av rensing ble generelt observert i løpet av første halvdel av tidsperioden, mens i siste halvdel av tidsperioden er renseeffekten lavere. Men på den annen side ser det ut som om det er en trend som viser økende grad av rensing av partikler, organisk karbon og total N i løpet av de siste tre årene i tidsperioden. For tidsperioden 1992-2007 blir konklusjonen at det er stor grad av variasjon i renseeffekt fra år til år og at det ikke ser ut til å være noen trend med tid.

Studier av renseeffekt i vegetasjonssoner over tid, i blant annet Finland, har vist at utlekking av løst P kan forekomme. Fenomenet er forklart med utlekking fra P-mettet jord eller fra nedbrutte planterester

om våren (Osborne & Kovacic 1993, Uusi Kammppaa 2005). Resultatene fra Mørdre så langt gir ingen indikasjon på at jorden i vegetasjonssonene er mettet med P.

Oppsummering - renseeffekt Mørdre

- Gjennomsnittlig renseeffekten for hele forsøksperioden er høyest for partikler og organisk karbon, så kommer total P og fosfat, og lavest renseeffekt er det for nitrogen.
- Renseeffekten varierer mye fra år til år
- Det er lik renseeffekt (%) om sommeren og vinteren eller bedre renseeffekt om vinteren.
- Det er ikke forskjell i renseeffekt mellom de to sonene med spredte trær, eller mellom sonene med spredte trær og sonen med bare gress.
- Det er ikke forskjell i infiltrasjon (%) mellom vinter og sommer. Det er heller ikke forskjell i infiltrasjon mellom de tre vegetasjonssonene.

Oppsummering - langtidsrenseeffekt

- Feltforsøkene fra Mørdre viser stor variasjon i renseeffekt fra år til år. Der ser ikke ut til å være noen trend med tid.
- Forsøk over tid fra bl.a. Finland viser utlekking av løst P fra sonen, som kan skyldes utlekking fra P-mettet jord eller fra nedbrutte planterester. Tilsvarende funn er ikke blitt gjort i Mørdre.

Diskusjon

Vegetasjon har stor innflytelse på renseprosessene i en vegetasjonssone. Tett gressvegetasjon vil bidra til å fremme sedimentasjon i sonen. Jordstrukturen tenderer mot å være bedre utviklet i områder med permanent vegetasjon og dette øker infiltrasjonskapasiteten. Tidligere studier

Figur 11. Vegetasjonssone med trær i planert ravinelandskap. Foto: R. Aspmo

viser at skogkledde soner med god undervegetasjon som oftest gir bedre rensing av overflatevann enn gresskledde soner.

Resultatene fra forsøksfeltet i Mørdre viser ingen signifikant forskjell i renseeffekt eller mengde infiltrert vann mellom felt med gress



og felt med gress/trær. Årsaken til dette er sannsynligvis at rotutviklingen har foregått over for kort tid eller at antall trær i hvert forsøksfelt er for få til å få en god rotutvikling og dermed høyere infiltrasjonskapasitet i hele vegetasjonssonen.

Kolonneforsøket fra Ås viste imidlertid at trær har en positiv innvirkning på rensing av vann som infiltrerer i rotsonen. Vann som perkolerer gjennom rotsonen til en vegetasjonssone med trær vil dermed mest sannsynlig bli bedre rensert enn vann som perkolerer gjennom rotsonen til en vegetasjonssone med bare gress. Dette kan skyldes høyere opptak av næringsstoffer i trær enn i gress. Vegetasjon vil også spille en viktig rolle med hensyn på denitrifikasjon ved at rotsystemet skiller ut organisk karbon som trengs for denitrifikasjonsprosessen. Ved at trær har et dypere og større rotsystem enn gress, kan mer organisk karbon skilles ut, noe som øker denitrifikasjonen. Det er også mulig at et godt utviklet rotsystem til trær vil fremme filtrering av partikler i vann som infiltrerer jorden.

Det er vist at or kan fikse store mengder atmosfærisk N_2 og kan dermed være en kilde til N i områder med lave konsentrasjoner av nitrogen i jorden. Med økende konsentrasjoner av N i områdene rundt ser det imidlertid ut til at nitrogenfikseringen avtar og at mer N tas opp igjennom røttene. Vegetasjonssoner langs vassdrag med bestander av or er trolig effektive rensebarrierer.

Feltforsøkene i dette prosjektet har vært utført i forbindelse med overflateavrenning fra kornareal

er på indre Østland. Jordtypen er siltig mellomleire, og gjennomsnittlig helningsgrad er på 14 %. Vegetasjonssonene har vært tilsådd med gress og enkelt trær har vært



plantet i to av sonene. Da alle disse faktorene påvirker renseeffekten kan ikke resultatene fra disse forsøkene overføres direkte til andre områder der forholdene kan være forskjellig med hensyn på jordarbeiding og produksjon, jordtype, hellingsgrad, vegetasjonstype og klima.

Konklusjon

Prosjektet viser at renseeffekten i vegetasjonssoner som mottar overflateavrenning fra kornarealer ikke påvirkes av planting av enkelte spredte trær i forhold til bare gress i sonen. Effekten av økt renseevne med trærne blir sannsynligvis større ved bedre utvikling av et rotsystem som kan øke infiltrasjonskapasiteten i sonen. Med lysinterforsøket er det imidlertid vist at trær vil ha en positiv innvirkning på rensing av det vannet som infiltrerer i sonen.

Råd om spredt planting av løvtrær i vegetasjonssoner opprettholdes. Det er imidlertid viktig å samtidig ha tett undervegetasjon av gress. Sistnevnte er viktig for sedimentasjonsprosessen. Trærne må derfor ikke stå for tett, da dette ikke vil gi tilstrekkelig lys til en frodig bunnvegetasjon.

Foruten å bedre vannkvaliteten vil også planting av trær i vegetasjonssonene bidra til armering av elvebredden ved at rotsystemet til trær reduserer vanngravningen, bidra til økt biologisk mangfold i jordbrukslandskapet, skape viltkorridorer i landskapet, gi skygge på vannspeilet som hemmer vekst av gress og sumpplanter på bunnen av elven, samt gi skygge som reduserer vanntemperaturen. Sistnevnte faktor er gunstig for fisk. Bruk av vegetasjonssoner med trær fører også til økte estetiske kvaliteter i kulturlandskapet og vil bedre tilgjengeligheten for allmennheten langs vassdragene.

Praktiske råd om utforming av vegetasjonssoner i jordbruksområder med overflateavrenning

- Bredden til sonen bør være 5-10 m avhengig av fall og helningslengden på avrenningsområdet. Ved lange

Figur 12. Skisse som viser renseanlegg for grøfteutløp, sedimentasjonskammer for bunnfelling av partikler og stoffer bundet til dem, med etterfølgende vegetasjonssone for filtrering av løste næringsstoffer. Illustrasjon: R. Skøyen.

helningslengder (>100 m) og erosjonsutsatt jord, bør bredden økes til mer enn 10 m.

- Ved forsenkninger i terrenget bør gresskledde vannveger anlegges i tillegg til vegetasjonssoner (Figur 13).
- Vegetasjonssonen bør bestå av tett markvegetasjon med gress og eventuelt spredte trær. Det bør velges stråstive gressarter med tett vekst og lysåpne løvtrær med stort næringsopptak. Bartrær skygger og anbefales ikke.
- Forsøk har vist at til tross for at or fikserer atmosfærisk nitrogen, egner dette treslaget seg like godt i vegetasjonssoner som osp. Dette fordi nitrogenfikseringen avtar i områder der det er mye tilgjengelig nitrogen i jorden.
- Det anbefales å så/plante i vegetasjonssonen så tidlig som mulig om våren.
- Vegetasjonssoner skal ikke sprøytes og bør heller ikke gjødsles.

Forslag til videre arbeid

Mange års forskning i områder med kaldt klima har gitt nyttig kunnskap om renseprosesser og praktisk bruk av vegetasjonssoner med hensyn på rensing av overflateavrenning fra kornarealer. Imidlertid er det fortsatt mange ubesvarte spørsmål, som burde undersøkes nærmere:

- Kostnadseffektiviteten til vegetasjonssoner som tiltak i et nedbørfelt sammenliknet med andre tiltak.
- Vil jorden i en vegetasjonssone over tid bli mett med fosfor, og vil dette på sikt eventuelt føre til at vegetasjonssoner «lekker» mer fosfor enn det de binder.
- Hvordan bør skjøtsel av vegetasjonssoner foregå for å oppnå størst mulig effekt?
- Feltforsøkene i Norge har så langt fokusert på overflateavrenning i leirjordsområder med korndyrking. I andre typer jordbruksområder med annen produksjon kan det imidlertid være viktigere å fjerne løste næringsstoffer og plantevernmidler fra grunnvannet, i perioder med mett strømming gjennom rotsonen til vegetasjonssoner. Det har vært utført flere studier i andre land som har sett på fjerning av nitrat og plantevernmidler i temporært grunnvann gjennom en

vegetasjonssone. I områder med kaldt klima har det imidlertid bare vært utført noen få slike studier.

- Hvordan vil et varmere klima med våtere og mildere vintre og flere fryse-tine sykluser virke inn på renseeffekten i vegetasjonssoner?
- Hvordan utnytte landskapets topografi i forhold til optimal utforming av vegetasjonssoner, for eksempel ved å undersøke effekten av lengre soner ved bratte skråninger og smalere soner ved flattere helling?
- En ulempe med trær i vegetasjonssoner langs vassdrag kan være at røttene risikerer å tette igjen grøfterørene. Dette har ikke vært undersøkt, og det er uvisst hvorvidt dette er et aktuelt problem. Tette eller uslissede rør ytterst kunne være en løsning. Dette er noe som burde undersøkes nærmere.
- Mange dyrkede områder er drenert, og avrenning via dreneringsrørene fører løste næringsstoffer, men også jordpartikler og stoffer bundet til dem, ut i elver og innsjøer. I et avsluttet feltforsøk har det blitt undersøkt hvorvidt vegetasjonssoner anlagt ved grøfteutløpet kan være en måte å rense denne type avrenningen på (figur 12). Her trengs det imidlertid flere undersøkesler.

Litteratur

Dillaha T.A., Reneau R.B., Mostaghimi S & Lee D. 1989. Vegetative filter strips for agricultural nonpoint source pollution control. *Transaction of ASEA* 32: 513-519.

Fennessy M.S. & Cronk J.K. 1997. The effectiveness and restoration potential of riparian ecotones for the management of nonpoint source pollution, particularly nitrate. *Critical Reviews Environ. Sci. Technol.* 27(4): 285-317.

Mander Ü., Vought L.B.-M., Löhmus K. & Kuusemets V. 1996. Nitrogen and phosphorus removal in riparian alder forests. In: Thofelt L. & Englund A. (Eds.) *Ecotechnics for a Sustainable Society. Proceedings from Ecotechnics 95 - International Symposium on Ecological Engineering*. 29-31 March, 1995, Mid Sweden University, Östersund, pp. 177-188.

Osborne L.L. & Kovacic D.A. 1993. Riparian vegetated buffer strips in water-quality restoration and stream management. *Freshwater Biology* 29: 243-258.

Syversen N. 1994. Vegetasjonssoners effekt på avrenning fra jordbruksarealer - sluttrapport. *Jordforsk-rapport* 6.93.11/1.

Syversen N. 1997. Vegetasjonssoner som tiltak for å redusere overflateavrenning fra kornarealer. *Jordforsk-rapport* nr. 30/97.

Syversen N. 2002a. Cold-climate vegetative buffer zones as filters for surface agricultural runoff - retention of soil particles, phosphorus and nitrogen. *Doctor Scientiarum Theses* 2002:12. Agricultural University of Norway.

Syversen N. 2002b. Effect of a cold-climate buffer zone on minimising diffuse pollution from agriculture. *Water Sci. Technol.* 45: 69-76.

Syversen N. 2003. Vegetasjonssoner som rensefilter for overflateavrenning fra jordbruksmark. Variasjon i renseeffekt gjennom året og over lang tid (1992-2003). *Jordforsk-rapport* nr. 73/03.

Syversen N., Øygarden L. & Salbu B. 2001. ¹³⁴Cesium as a tracer to study particle transport processes within a small catchment with a buffer zone. *J. Environ. Qual.* 45(9): 69-76.

Søvik A.K. & Syversen N. 2008. Retention of particles and nutrients in the root zone of a vegetative buffer zone - Effect of vegetation and season. Akseptert for publisering i *Boreal Environment Research*.

Vought L.B.-M., Dahl J., Pedersen C.L. & Lacoursière J.O. 1994. Nutrient retention in riparian ecotones. *Ambio* 23: 342-348.

Uusi-Kämpä J., Braskerud B., Jansson H., Syversen N. & Uusitalo R. 2000. Buffer zones and constructed wetlands as filters for agricultural phosphorus. *J. Environ. Qual.* 29: 151-158.

Uusi-Kämpä J. 2005. Phosphorus purification in buffer zones in cold climates. *Ecol. Engineer.* 24: 491-502.

Dette arbeidet er finansiert av Statens landbruksforvaltning.



Figur 13. Gresskledd vannvei i en forsenkning i terrenget.
Foto: U. Dahl Grue.